

·学科进展与展望·

# 能源利用与环境领域的基础研究

刘涛\* 林汝谋† 金红光†

(\* 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部,北京 100085;

† 中国科学院工程热物理研究所,北京 100080)

**[摘要]** 能源利用科学对能源科学技术发展、进而对促进社会经济发展和满足国家重大战略需求都将起到重要的作用。本文论述了能源利用与环境领域的基础研究的科学价值与意义、现状与趋势以及在我国的进展与基础,并对我国相关基础研究的战略目标、关键问题与优先领域提出建议。

**[关键词]** 能源利用,环境问题,基础研究,优先研究领域

## 1 科学价值与战略意义

能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、电、动力等任一形式能量的载能体资源,它与材料和信息构成了当代国民经济发展的三大支柱。能源的开发和合理利用是整个社会发展的源泉和推动力,它标志着人类的文明和进步,决定着—个国家的竞争实力和综合国力。回顾工业革命以来的历史可以发现,几乎每一次能源利用方式的突破都带来了生产力的飞跃和社会的发展,蒸汽机开创了人类文明的新纪元,内燃机、燃气轮机的出现与发展为电气化和机械化的现代社会创造了条件,涡轮喷气发动机和火箭发动机则将人类带入了高速航空和宇航的时代,核能与可再生能源发展利用将为未来世界建立可持续发展的理想能源体系。

20世纪能源科技得到空前发展,以化石燃料为主的能源结构成为人类的生存与发展的支柱,许多国家正是依靠充足、廉价的石油能源,实现了经济的高速增长。但现有的能源结构体系不可能长久维持下去,一方面化石能源资源有限,另一方面大量使用化石能源也给地球环境造成了严重危害,使人类赖以生存的地球空间受到了空前的威胁。为了满足可持续发展的需求,人们不断探索能量转换利用的新概念、热物理过程的新原理以及能源利用的新途径,在传统能源科学基础上不断开拓新的研究热点和新学

科分支,如能源环境学、能源经济学、新能源学科(包括太阳能、生物质能、氢能以及核能等)等。

我国现代化面临人口、资源的巨大压力,而能源利用和环境问题与这些制约因素密切相关,被确定为经济发展的战略重点。我国是世界上最大的煤炭生产和消费国,庞大的能源系统以煤炭为主,且相当长时期内不会有大的改变。能源和环境问题是社会与经济发展的一个长期制约因素,关系全局的主要能源问题有:以煤炭为主的能源结构的改善与优化,能源利用效率的提高;能源利用中污染日益严重的环境问题;能源安全问题(含战略石油储备与供应,大电网安全稳定优化运行)等。这些能源问题的解决主要取决于能源利用技术的突破,而后者主要依赖于能源科学基础与应用基础领域的研究进展。能源科学内涵丰富,研究对象广泛,是一门综合性强、涉及面广、与国民经济密切相关的学科。历史经验表明,能源利用科学与能源科技的发展是密切相关和相互促进的。因此,要积极开展相关的能源科学问题研究,旨在推动我国乃至世界的能源科学技术发展,也是为了满足我国国民经济发展对能源利用与环境的重大战略需求。

## 2 国际研究现状与发展趋势

世纪之交,世界能源环境科学技术研究正趋向于取代20世纪传统能源技术,将在能源利用和环境

本文于2002年9月23日收到。

科技方面带来革命性突破。例如,美国能源部启动了21世纪远景计划(Vision 21)和洁净煤技术(CCT)计划等。美国洁净煤技术方面资助的重点是先进的发电系统及与发电有关的污染控制技术。预计到2050年,新型系统的CO<sub>2</sub>等有害物将实现准零排放,燃煤发电效率可达到60%,天然气发电效率达75%。

欧共体推出的未来能源计划的重点是促进欧洲能源利用新技术的开发,减少石油的依赖和煤炭造成的环境污染,增加生物质能源和其他可再生能源的利用。目前在改善能源转换和利用的研究开发中优先考虑的是减少污染排放,提高能源转换和利用效率。正在研究开发的项目有整体煤气化联合循环发电;煤与生物质及工业、城市或农业废弃物联合气化(或燃烧);固体燃料气化燃料电池联合循环;循环流化床燃烧技术等。

日本新能源综合开发机构(NEEDO)新日光计划中,开展了新的能源释放方式的研究,如新型高温空气燃烧方式(节能30%,NO<sub>x</sub>降低50%)、具有O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>燃烧的动力循环等,以达到同时解决能源和环境问题;发展氢能的世界能源网络项目(World Energy-Network),它包括氢的制造、氢的储运、氢能的转化和利用等三个部分;也开展“煤气化联合循环动力系统”和“煤气化制氢”等项目,如超临界蒸汽循环,流化床燃烧及煤气化联合循环发电,煤气化燃料电池联合发电技术,烟道气的脱硫脱氮等。值得注意的是政府资助的大量研究经费正在从煤的研究转移到全球温室效应方面的研究。

由温室气体引起的全球变暖是当前也是未来能源和环境问题中最引人关注的热点及难点。含碳化石燃料燃烧排放的CO<sub>2</sub>是主要的温室气体源。全球气候变暖将对人类生存和社会发展带来不利,甚至是灾难性的后果。为控制温室气体的排放,保护全球气候,1992年6月在巴西里约热内卢召开了联合国环境与发展大会,会议签署了《气候变化框架公约》。公约的核心是节约能源,提高能源利用效率以达到控制和减少CO<sub>2</sub>排放的目的,这将成为21世纪能源科学的主要议题。这对于能源结构以煤炭为主并且在相当时期内不可能有根本改变的我国能源体系将是一种严峻的挑战。

从能源利用和环境科学发展看,主要有以下四个特点:(1)学科交叉、综合已成为当代能源科学发展的一个基本趋势与特征,能源科学的各分支学科之间,能源科学与生物学、材料科学、计算机科学以

及信息科学等都在不断交叉与综合。(2)能源科学研究被放到更大系统中来发展,能源与社会、经济和环境等领域的渗透综合以及向海洋、太空等更广阔空间延伸成为能源科学发展的另一个主要趋势。(3)能源转化利用规律的探索还在不断深化:一方面不断拓宽或突破原有界限与假定,另一方面采用新理论、新方法和新手段。(4)能源科学是能源高技术创新的源泉和先导,两者紧密相连、相互促进,当代能源技术发展在很大程度上引导着能源科学发展的趋势。例如,对众多新能源开拓利用技术迫切需求,推动了新能源工程学迅速发展;为了优化终端能源结构,人们高度重视先进发电技术,从而使新型热力循环和能源动力系统的发明和验证成为许多国家科研的重点;为了推行绿色能源战略、解决能源利用和环境协调难题,则使煤炭高效洁净利用以及新能源等的研究成为世界热门课题。

### 3 国内研究现状与已有基础

建国50年来,能源科学研究取得很大的进步,在一些领域与方向上已接近或达到国际先进水平。如叶轮机械流动理论处于国际先进行列,并在工程实际应用中取得了明显效益;在特殊地质条件下成油理论已为大型油田开发建设立下了功勋;航天器的热控制和热防护的研究为我国人造卫星发射成功作出了贡献;电力系统非线性控制理论创新和应用成功使我国在这方面居于领先地位;高温气冷试验堆和HT-7托卡马克装置的建成,水电高坝的先进建设技术以及±20 mvar STATCOM装置的成功投运,标志我国在核能利用、水电和电力电子技术等相应领域进入世界先进行列。

在化石能源和新能源利用的研究领域也是如此,多年来,国家也从不同的层次对该领域给予了持续的支持。国家自然科学基金委员会在“七五”期间组织了“工程热物理中关键性问题的研究”重大项目,包含了当时比较重要的方面:叶轮机械中气动热力学;传热传质和热物性;管内气液两相流及其传热规律;内燃机燃烧与煤燃烧研究等。通过该重大项目的研究,引导了研究方向、组织了研究队伍,也取得了一批具有重大应用价值的研究成果。例如,弯形叶片在国产汽轮机涡轮中应用的基础研究取得了显著的效果;在煤粉火焰稳定器及旋流煤粉燃烧技术的基础研究具有独创性,成果还转化成为有直接经济效益和社会效益的技术。1991年到1995年间,国家自然科学基金委员会资助了4项重点项目:多

孔介质传热、热过程对流动过程影响规律、多相流动与传热规律、火灾过程和防治中的热物理问题研究等,既涉及到能源利用的一些深层次的基础性机理问题(如传热传质和多相流的研究),也有紧密结合国家需求且又从实际工程背景中提炼出科学问题(如火灾研究)。“九五”期间,资助规模和资助强度有了显著的增加,分别安排了10个重点项目和两个重大项目。为了贯彻鼓励创新、鼓励交叉的资助原则,通过专家建议和会议研讨等方式,立项并资助了住区微气候环境中热物理问题、高能束流表面加工与处理的超常热物理问题、新型高效蓄热(冷)介质及技术、临床医学中若干热物理问题的研究等交叉重点项目以及“航天技术和信息器件中的微细尺度传热”交叉重大项目。根据科学技术发展与国家经济发展的需求,对在“七五”和“八五”期间曾经资助过的重要研究领域进行了持续的资助,如叶轮机械弯扭叶片流场结构诊断与控制、火灾中若干特殊火行为的研究以及车用内燃机新概念燃烧过程的研究。此外,还对某些新的研究领域提供了高强度的资助,如深度制冷机热过程研究、新型高效干燥过程的超常传热传质、垃圾洁净燃烧关键基础研究等重点项目,还有“能源动力中多相流热物理基础理论与技术研究”重大项目。其中有些研究项目,已取得了重要成果,如叶轮机械弯扭叶片流场结构诊断与控制研究项目,已形成了具有中国自己知识产权的弯扭叶片级、级组和整机的全三维设计体系,应用它设计的国产600 MW,300 MW,200 MW,125 MW和100 MW汽轮机性能均优于原机,达到了同类型国际先进水平。而通过对深度制冷机热过程的研究,使我国脉冲管制冷机在稳定性和紧凑性方面达到了国际先进水平,并在GM制冷机理论分析及性能测试研究方面取得了重要成果,基于这些,我国学者在国际低温工程领域赢得了很高的学术地位。由于能源利用对我国社会、经济的发展和国家安全等至关重要,相关的研究一直得到了国家各有关部门(如国家科技部、教育部、中国科学院及其他有关部委)支持。特别是在“十五”期间,能源利用及其环境问题受到越来越大的重视,在国家高技术研究发展计划(“863”计划)中,洁净煤技术和后续能源技术两个主题首次被列入能源技术领域。洁净煤技术主要包括煤炭的绿色开发技术、煤炭的洁净加工技术、煤炭的高效洁净转化技术、煤的高效洁净燃烧和先进发电技术以及污染排放控制与治理技术等。而后续能源则包括核能、氢能与可再生能源等,覆盖了除矿物能

源以外的几乎所有能源。此外,在国家科技部组织的“国家重点基础研究发展规划”(即“973”计划)中,燃煤污染防治的基础研究,高效洁净能源-动力系统及热-功转换过程内部流动的研究,高效节能的关键科学问题,新一代内燃机燃烧理论和石油燃料替代途径的基础研究以及火灾动力学演化与防治基础研究等获得了资助。

通过国家各个层次的支持,我国陆续建立了一批从事能源基础或基础性研究的科研机构,分布在清华大学、中国科学技术大学、天津大学、华中理工大学、上海交通大学、西安交通大学、哈尔滨工业大学、浙江大学、大连理工大学、北京航空航天大学、中国科学院工程热物理研究所等院校和研究所;还在许多大学里设置与能源科学有关的学科专业,并通过国内外各种教育途径培养出数万名能源科技人员,其中不乏世界高水平的科学家,也涌现出一大批杰出青年科技人员。近年来,国家还为能源科学的发展,建立了一批国家重点实验室,如内燃机燃烧学实验室,煤燃烧实验室,动力工程多相流实验室,煤的高效低污染燃烧技术重点实验室,能源洁净利用与环境工程实验室,航空发动机气动热力重点实验室等。

但从总体上看,我国能源利用科学的研究水平与世界先进水平还有较大差距,特别是实验研究方面差距更大,能源科技开发研究投资强度过低,重应用、轻基础的倾向长期存在,试验设备和测试手段落后,许多重要方向性研究还处于空白或薄弱状态。

#### 4 关键科学问题及优先领域

根据我国能源及其科学技术的现状与研究基础,当代能源科学发展趋势以及国家重大需求,能源利用与环境领域学科发展的战略目标应是,建立一支结构合理、精干和稳定的基础性研究科研队伍,扶持与建设一批比较先进的能源科学研究基地,使我国能源利用科学基础研究有更多的学科和领域接近或达到国际先进水平;孕育创新思想、积累科学储备,为解决制约我国经济发展的能源重大关键问题确定技术发展方向和奠定科学基础,并为相关的能源高新技术和产业的发展提供科学源泉与支撑。

近期优先领域选择主要强调:(1)紧密围绕解决关系全局的能源结构、效率、环境、安全四大问题的应用基础研究;(2)瞄准能源科学前沿重大问题,发挥我国的优势与特色,并体现学科深化和交叉、综合发展趋势,或能在国际能源利用科学前沿占有一席

之地的基础研究;(3)针对我国能源利用领域高技术发展中的新概念、新构思、新途径等探索性研究目标的重点是:(1)继续加强能源利用基础学科的研究,注重学科交叉和领域渗透,使我国能源利用与环境科学研究协调均衡发展。(2)解决化石能源发展和应用中的关键问题,发展与开拓科学的途径与方法,使常规化石能源、特别是煤炭成为高效、洁净、稳定、廉价的能源。(3)为推动新能源发展及其关键技术开发提供科学源泉和支撑,以不断改善我国能源消费结构和加快能源结构多元化,建立可持续发展能源系统。(4)加强能源转换的物理化学生物学基础研究,为煤炭洁净利用、石油战略储备、电能蓄存、生物质能开拓等奠定科学基础。为此,“十五”期间建议选择下列优先领域:

#### (1)传统能源高效洁净利用基础

优先研究方向:广义总能系统;新型化石能源系统开拓与循环创新;能源转换利用过程的物理化学新机理;中低温能源利用热力循环与系统节能理论;新型制冷循环与技术;非定常流动、非定常涡系结构、新叶栅几何与新流型研究;多相内流气动热力学与强化传热;大型电力系统经济运行和灾变防治的理论、方法和控制;特殊条件下超特高电压输电基础等。

#### (2)能源与环境基础理论

研究能源转换利用过程中对生态环境的影响及防治对策的基础理论将为能源环境学奠定理论基础。其优先研究方向是:能源转换利用中有害元素制导与无公害定向转换理论;新型能量释放机理(如

无火焰燃烧,部分氧化,高温空气燃烧等理论);无公害(包括 CO<sub>2</sub> 回收利用)能源系统新概念研究;煤炭高效、洁净燃烧;煤的分级转化与多联产利用系统;城市废弃物无公害、资源化利用;绿色建筑能源等。

#### (3)可再生能源与核能开拓利用基础

可再生能源将成为未来可持续发展能源系统的主体,包括太阳能、生物质能、海洋能、地热能、风能、水能以及氢能等,其应用基础研究要为各种可再生能源低成本、规模、稳定、高效的开拓利用提供科学支撑和途径,其优先研究方向是:低价、高效、长寿新型光伏发电的基础,光热利用新方法,生物质能转换的化学生物学基础;高效风能、地热能的利用,氢能规模制备及储运、利用。目前,裂变核能已在世界能源供应中处于重要的地位,而将来核聚变能可能成为人类取之不尽的理想能源,其优先研究方向是:受控热核聚变堆关键科学问题,新的安全裂变堆型探索,快堆与高温气冷堆等。

另外,我们还建议采取下列政策措施:(1)加大能源科技研究开发的投入,我国能源 R&D 经费占国家 R&D 总经费的比例比国际上发达国家的相应值小一个数量级。(2)从我国目前科研队伍断层的实际情况出发,还要注重人才培养,特别是国际前沿领域高水平的学术带头人。(3)通过能源利用与环境两大领域的交叉研究,扶持研究基地:如能源利用与环境工程实验室,可再生能源开拓利用基础研究基地,煤清洁转换利用重点实验室。(4)协调好能源领域各类科技计划项目等。

## CHINA'S FUNDAMENTAL RESEARCH IN ENERGY UTILIZATIONS AND ENVIRONMENT

Liu Tao<sup>\*</sup> Lin Rumou<sup>†</sup> Jin Hongguang<sup>†</sup>

(\* Department of Engineering and Material Sciences, NSFC, Beijing 100085; † Institute of Engineering Thermophysics, CAS, Beijing 100080)

**Abstract** The progress in the science of energy utilizations will have a crucial effect on the developments of energy science and technology, which will then promote social and economical developments and fulfill requirements for the national strategic objective. The paper has discussed the scientific significance, the current status and trend, its research progress and basis in China of fundamental research on energy utilization and environment, and has also provided the suggestions for the strategic objective, key problems and encouraged its research areas in China.

**Key words** Energy utilization, Environmental issue, Fundamental research, Encouraged research areas